



①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 197 57 024 C 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
H 01 H 85/04
H 01 H 37/00
G 12 B 1/00

②① Aktenzeichen: 197 57 024.0-32
②② Anmeldetag: 20. 12. 97
④③ Offenlegungstag: -
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 2. 6. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133
Karlsruhe, DE

⑦② Erfinder:
Kohl, Manfred, Dr., 76149 Karlsruhe, DE;
Skrobanek, Klaus, 76135 Karlsruhe, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
Conference Proceedings: "ACTUATOR 96", 5. th
International Conference in New Actuators,
26-28 June 1996, Bremen, Germany, S. 366-369,
Published: AXON Technologie Consult GmbH;

⑤④ Mikrosicherung

⑤⑦ Mikrosicherung für die Mikrotechnik zum Unterbre-
chen und Schließen eines elektrischen Stromkreises mit
mindestens zwei Ebenen, gegeneinander arbeitenden Li-
nearaktoren aus mäanderförmigen Strukturen als Stell-
elemente mit je einem ortsfesten und einem beweglichen
Arbeitsende aus strukturierter Folie einer elektrisch leitfä-
higen Formgedächtnislegierung, die zum Teil Bestandteil
des Stromkreises sind. Die gegeneinander liegenden Ar-
beitsenden der Aktoren sind miteinander verbunden, wo-
bei an dem Übergangsstück ein Schaltkontakt in dem
Stromkreis angeordnet ist, welcher durch die Formände-
rung eines der Aktoren öffnbar und durch die Formände-
rung des anderen wieder schließbar ist.

DE 197 57 024 C 1

DE 197 57 024 C 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Mikrosicherung (MEMS) zum Unterbrechen und Schließen eines elektrischen Stromkreises.

Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich um eine automatische Sicherung mit Millimeterabmessungen unter Verwendung von Linearaktoren aus einer Formgedächtnislegierung. Derartige Sicherungen bilden ein Mikro-Elektro-Mechanisches-System (MEMS) zum Unterbrechen und Schließen eines elektrischen Stromkreises. Linearaktoren als solche sind zum Beispiel aus: "ACTUATOR 96, 5th International Conference on New Actuators, 26.-28. June 1996, Bremen, s. 367-369" bekannt. Speziell bekannt ist dabei, zwei Linearaktoren, die aus einer Formgedächtnislegierung bestehen, gegeneinander vorgespannt anzuordnen, um damit Schaltvorgänge vorzunehmen. Dabei besitzt jeder der Aktoren eine mäanderförmige Struktur, sowie ein ortsfestes und ein bewegliches Ende. Schließlich ist der Aktor auf einem Keramiksubstrat angeordnet.

Ausgehend davon ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, mit solchen Aktoren eine Mikrosicherung mit Millimeterabmessungen zum Unterbrechen und Schließen eines elektrischen Stromkreises zu schaffen.

Zur Lösung der Aufgabe schlägt die Erfindung die Merkmale vor, die in ihrer Gesamtheit im Anspruch 1 angeführt sind. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Merkmalen der Unteransprüche zu sehen.

Die erfindungsgemäße Mikrosicherung ermöglicht eine automatische Unterbrechung eines elektrischen Lastkreises oberhalb einer kritischen Stromstärke. Durch Strombeaufschlagung eines ersten Steuerkreises kann der Lastkreis wieder geschlossen werden. Mit Hilfe eines zweiten Steuerkreises nach der Ausführungsvariante kann die Unterbrechung des Lastkreises zusätzlich nach Bedarf unterbrochen werden. Die Mikrosicherung kann eine sehr geringe Baugröße von wenigen mm aufweisen. Es ist zu seiner Realisierung nur ein einziges FGL-Mikrobauteil erforderlich. Aufgrund des intrinsischen FGL-Effektes ist die Sicherungsfunktion sehr zuverlässig. Die Bewegung erfolgt reibungsfrei, wobei hohe Kräfte im Kontaktbereich bei ausreichenden Stellwegen zur galvanischen Kontaktunterbrechung erzielt werden.

Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden und anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Mikrosicherung in einer ersten Ausführung in perspektivischer Darstellung,

Fig. 2 Mikrosicherung geöffnet

Fig. 3 Mikrosicherung geschlossen

Fig. 4 zweite Ausführung der Mikrosicherung.

Materialien aus Formgedächtnislegierungen FGL zeigen beim Übergang von einer martensitischen Phase unterhalb der Phasenübergangstemperatur des Materials zu einer austenitischen Stammphase durch Erwärmung über die Phasenübergangstemperatur eine thermoelastische Phasentransformation. Unterhalb der Phasentransformationstemperatur ist das Formgedächtnis-Material um mehrere Prozent plastisch deformierbar. Das Material verbleibt im deformierten Zustand, solange bis es über die Phasentransformationstemperatur erwärmt wird, wobei es unter erheblicher Krafterzeugung wieder seine ursprüngliche Gestalt (Gedächtnisgestalt) annimmt. Im martensitischen Zustand lassen sich federnde FGL-Bauteile leicht auslenken, bei Erwärmung über die Phasentransformationstemperatur nehmen sie dagegen einen erheblich steiferen Zustand an. Dieser Effekt wird auch Ein-Weg-Effekt genannt, da er nur bei Temperaturänderung in einer Richtung (Erwärmung) auftritt. Die Gedächtnisgestalt kann durch bestimmte thermomechanische Verfahren eingestellt werden. So kann man auch den Formgedächtnis-

effekt zusätzlich bei Rücktransformation (Abkühlung) einstellen. In diesem Fall spricht man auch von Zwei-Weg-Effekt. Die maximale Krafterzeugung bei Rücktransformation ist jedoch wesentlich geringer. Ein technisch interessantes Formgedächtnis-Material ist z. B. NiTi, das reversible Dehnungsänderungen bis 8% zuläßt.

Die neue Mikrosicherung ist zum Unterbrechen und Schließen eines elektrischen Stromkreises in der Mikrotechnik vorgesehen. Sie weist als Stellglied mindestens zwei ebene, gegeneinander arbeitende Linearaktoren (Aktor), einen ersten 1 und einen zweiten 2, aus je zwei mäanderförmigen Strukturen 3, 4 und 5, 6 als Stellelemente auf. Die Stellelemente bestehen hier beispielsweise aus zwei gefalteten Planarfedern, die über ein Übergangsstück 9 miteinander gekoppelt sind und sich in einem mechanisch vorgespannten Zustand befinden. Beide Planarfedern aus FGL sind so konditioniert, daß sie in ihrer austenitischen Hochtemperaturphase entweder eine unausgelenkte oder vollständig ausgegelenkte Gedächtnisgestalt annehmen. Die in den Fig. 1 bis 4 dargestellten Ausführungsformen benutzen eine unausgelenkte Gedächtnisgestalt. Beide Aktoren 1, 2 besitzen je ein ortsfestes 7 und ein bewegliches Arbeitsende 8, wobei die beiden beweglichen durch das Übergangsstück 9 miteinander verbunden sind. Das Übergangsstück 9 bildet gleichzeitig als ein gemeinsames Teil beider Aktoren 1, 2 die Verbindung zwischen den Strukturen 3, 4 sowie 5, 6. Alle diese Elemente sowie die Kalotte 10 bestehen als ein Teil aus strukturierter Folie einer elektrisch leitfähigen FGL, in der durch Phasentransformation in den Aktoren 1, 2 Kräfte in einander entgegengesetzter Richtung erzeugt werden. Diese Kräfte werden durch Ohmsche Erwärmung freigesetzt, da die Struktur zum Teil Bestandteil von Stromkreisen ist und dadurch teilweise über die Phasentransformationstemperatur erwärmt werden kann. Dazu spielen bei der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführung der Mikrosicherung zwei Stromkreise eine Rolle. Der erste ist der zu schaltende Last- oder Schaltkreis. Er wird von dem zweiten Aktor 2, dem Übergangsstück 9 und der Kalotte 10 sowie der Klemmvorrichtung 11 des Schaltkontaktes und den zugehörigen Anschlüssen 12, 13 gebildet. Der zweite Stromkreis ist ein Steuerkreis zum Schließen des Lastkreises, der von dem ersten Aktor 1, dem Übergangsstück 9 sowie den Anschlüssen 14, 15 gebildet wird. Der Schaltkontakt 10, 11 im Lastkreis ist als lösbare Klemmvorrichtung ausgebildet, die das reversible Öffnen und Schließen der elektrischen und mechanischen Verbindung im Lastkreis ermöglicht. Die Klemmvorrichtung 10, 11 ist dabei so dimensioniert, daß der Kontakt bei niedrigen Stromstärken im Lastkreis aufrechterhalten werden kann und der Kontaktwiderstand genügend erniedrigt ist.

Die Aktoren 1, 2 der beiden Stromkreise sind so ausgelegt, daß bei Strombeaufschlagung des Aktors 1 und geöffnetem Schaltkontakt 10, 11 im Steuerkreis die Kraft in Stellrichtung des Aktors 1 gegenüber der Rückstellkraft des Aktors 2 und der Haltekraft des Schaltkontaktes 10, 11 überwiegt. Außerdem überwiegt bei Stromstärken oberhalb der Grenzstromstärke im Lastkreis die Rückstellkraft des Aktors 2 gegenüber der Kraft des Aktors 1 in Stellrichtung und der Klemmkraft. Die Grenzstromstärke im Lastkreis wird durch die Abmessungen des Aktors 2 festgelegt. Das Übergangsstück 9 zwischen den beiden Aktoren 1, 2 ist so dimensioniert, daß beide Aktoren 1, 2 thermisch hinreichend voneinander entkoppelt sind, so daß bei Strombeaufschlagung des Aktors 1 im Steuerkreis die Temperatur des Aktors 2 unterhalb dessen Phasentransformationstemperatur bleibt. An dem Übergangsstück 9 ist der Schaltkontakt aus den Teilen 10, 11 in den Lastkreis eingeschaltet, der durch die Formänderung eines der beiden Aktoren 1, 2 geöffnet und

durch die Formänderung des jeweils anderen wieder geschlossen wird. Wie bereits erwähnt, besteht der erste der Aktoren 1 aus den zwei nebeneinanderliegenden Strukturen 3, 4, die an ihren Arbeitsenden 8 mittels des Übergangsstückes 9 miteinander verbunden sind. Bei den Ausführungsbeispielen ist zwischen diesen Strukturen 3, 4 der Schaltkontakt 10, 11 angeordnet, wobei die eine Hälfte 10 des Schaltkontaktes 10, 11 an dem Übergangsstück 9 zwischen den Arbeitsenden 8 elektrisch leitend, die andere Hälfte 11 zwischen den Strukturen 3, 4 des ersten Aktors 1, jedoch elektrisch von diesen und der übrigen Struktur getrennt angebracht ist. Wie bereits vorstehend erwähnt, besteht die eine Hälfte des Schaltkontaktes 10, 11 aus der Kalotte 10, die andere Hälfte aus einer die Kalotte 10 aufnehmenden Klemmvorrichtung 11, deren Klemmkraft durch die Formänderung eines der Aktoren 1 oder 2 überwindbar ist und die über den Anschluß 13 kontaktiert ist. Damit ist der über das Übergangsstück 9 mit dem Schaltkontakt 10, 11 verbundene zweite Aktor 2 Bestandteil des Strompfades des zu schaltenden Strom-/Lastkreises und der um den Schaltkontakt 10, 11 gelegene erste Aktor 1 bildet einen davon getrennten ersten Steuerkreis mit eigenem Strompfad. Die offenen Enden/Anschlüsse 12, 14, 15 an der ortsfesten Seite 7 der beiden Aktoren 1, 2 sind als mechanische Haltestrukturen und zugleich elektrische Kontakte ausgebildet, mittels derer die Strukturen 3, 4, 5, 6 und 21, 22 der Aktoren 1, 2 und 20 durch Stromaufgabe erwärmbar sind.

Die gesamte Mikrosicherung ist nun, wie aus dem in der Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ersichtlich, auf einer nicht leitenden Substratplatte 16 aufgebaut. Dazu sind auf ihr, bei der dargestellten Form vier, in einem bestimmten Abstand befindliche Kontaktelemente 17, 18, 19 fest angebracht, in denen die Anschlüsse 12, 14, 15 elektrisch leitend sitzen und eine Stromverbindung herstellen. Beide Aktoren 1, 2 mit dem Übergangsstück 9 und der daran sitzenden Kalotte 10 bilden ein frei bewegliches FGL-Stellglied zwischen den festen Kontaktelementen 17, 18, 19, in denen die Anschlüsse 12, 14, 15 fest sitzen. Auf diese Weise werden die erwähnten Enden der Aktoren 1, 2 gegenüber der Substratplatte 16 ortsfest fixiert. Der Abstand der Kontaktelemente 17, 18, 19 ist so gewählt, daß die Aktoren 1, 2 in bestimmtem Maße gegeneinander vorgespannt sind.

In der Fig. 4 ist eine zweite Ausführung der Mikrosicherung nach der Erfindung dargestellt. Diese ist mit der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführung in allen Positionsziffern bis 19 identisch, jedoch um einen zusätzlichen dritten Aktor 20 erweitert. Dieser Aktor 20 aus zwei mäanderförmigen Strukturen 21, 22 ist an dem Übergangsstück 9 parallel zu dem zweiten Aktor 2 neben diesem mit seinem Arbeitsende 23 so angebracht, daß er mit dem Übergangsstück 9 zusammen einen separaten Stromkreis als zweiten Steuerkreis bildet. Dieser zweite Steuerkreis ermöglicht das getrennte Lösen des Schaltkontaktes 10, 11 ohne Erwärmung oder Beeinflussung des Aktors 2 im Lastkreis. Die Strukturen 21, 22 des zusätzlichen Aktors 20 weisen ebenfalls Anschlüsse 24, 25 auf, die wie die der anderen Aktoren 1, 2 in Kontaktelementen 26, 27 auf der Substratplatte 16 sitzen.

Das Schließen des Schaltkontaktes 10, 11 im Lastkreis bei beiden Ausführungen wird durch Strombeheizung der Strukturen des Aktors 1 im Steuerkreis über ihre Phasentransformationstemperatur durchgeführt. Nach Schließen des Lastkreises kann der Strom im Steuerkreis wieder abgeschaltet werden, da die Klemmkraft zur Aufrechterhaltung des Kontaktes im Lastkreis ausreicht. Wenn bei der Ausführung nach den Fig. 1 bis 3 die Stromstärke im Lastkreis über einen kritischen Wert steigt, so steigt die Temperatur des Aktors 2 über die Phasentransformationstemperatur, so daß dessen Kraft über die Kraft der Klemmvorrichtung 11 domi-

niert und der Kontakt an der Klemmvorrichtung 11 geöffnet wird. Bei der Ausführung nach der Fig. 4 wird dieses Öffnen auch durch separates Erwärmen des dritten Aktors 20 erzielt.

Als Ausgangsmaterial zur Herstellung der gesamten Struktur der Mikrosicherung dienen dünne Filme, Folien oder gewalzte Bleche aus FGL mit typischen Dicken D im Bereich von 20 bis 200 μm . Dünne Filme aus FGL können mit Sputterverfahren und nachfolgender thermomechanischer Behandlung hergestellt werden. Folien aus FGL im Dickenbereich von 50 μm können z. B. mit dem "Melt-Spinning"-Verfahren realisiert werden. Folien können heute durch Walzen schmelzmetallurgisch hergestellter FGL Bleche in allen Dickenbereichen realisiert werden. In gewissen Grenzen kann die Dicke auch durch chemische Ätzverfahren auf den gewünschten Wert eingestellt werden.

Die Mikrostrukturierung des Ausgangsmaterials in die gewünschte Form der Struktur der Mikrosicherung kann durch Laserschneiden, Erodieren oder durch ein lithographisches Verfahren durchgeführt werden. Als lithographisches Verfahren wird insbesondere das elektrolytische Photoätzverfahren bevorzugt. Dabei wird ein geeigneter Photolack auf das Material aufgebracht, der dann optisch durch Schattenwurf oder direkte Laserschreibverfahren belichtet und nachfolgend entwickelt wird. Der so erzeugte mikrostrukturierte Photolack dient als Schutzmaske beim nachfolgenden elektrolytischen Ätzprozeß, bei dem die ungeschützten Teile in einem elektrolytischen Bad bei Anwesenheit eines elektrischen Feldes selektiv entfernt werden. Aufgrund der hohen chemischen Beständigkeit von FGL-Materialien eignen sich die elektrolytischen Ätzverfahren hier besonders gut.

Patentansprüche

1. Mikrosicherung (MEMS), zum Unterbrechen und Schließen eines elektrischen Stromkreises mit den folgenden Merkmalen:

- a) die Mikrosicherung weist mindestens zwei ebene, gegeneinander vorgespannte Linearaktoren (1, 2) aus mäanderförmigen Strukturen (3, 4, 5, 6) als Stellelemente mit je einem ortsfesten (7) und einem beweglichen (8) Arbeitsende aus strukturierter Folie einer elektrisch leitfähigen Formgedächtnislegierung FGL auf.
- b) in den Stellelementen (3, 4, 5, 6) werden durch Phasentransformation Kräfte in einander entgegengesetzter Richtung erzeugt
- c) die Stellelemente (3, 4, 5, 6) sind zum Teil Bestandteil des elektrischen Stromkreises.
- d) die gegeneinander liegenden beweglichen Arbeitsenden (8) der Linearaktoren (1, 2) sind durch ein Übergangsstück (9) miteinander verbunden, wobei an dem Übergangsstück (9) ein Schaltkontakt (10, 11) in dem elektrischen Stromkreis angeordnet ist.
- e) der Schaltkontakt (10, 11) durch die Formänderung eines der Linearaktoren (1, 2) geöffnet und durch die Formänderung des anderen der Linearaktoren (1, 2) wieder geschlossen wird.

2. Mikrosicherung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die weiteren Merkmale:

- a) der erste Linearaktor (1) besteht aus mindestens zwei nebeneinanderliegenden, mäanderförmigen Strukturen (3, 4), die an ihren beweglichen Arbeitsenden (8) über das Übergangsstück (9) miteinander verbunden sind und zwischen oder neben sich den Schaltkontakt (10, 11) aufnehmen,
- b) dabei ist die eine Hälfte (10) des Schaltkontak-

- tes (10, 11) an dem Übergangsstück (9) elektrisch leitend, die andere Hälfte (11) zwischen oder neben den mäanderförmigen Strukturen (3, 4) des ersten Linearaktors (1), jedoch elektrisch von diesen und der übrigen Struktur getrennt angebracht. 5
3. Mikrosicherung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch die weiteren Merkmale:
- a) die eine Hälfte des Schaltkontaktes (10, 11) besteht aus einer Kalotte (10), die andere Hälfte des Schaltkontaktes (10, 11) aus einer diese Kalotte 10 (10) aufnehmende Klemmvorrichtung (11), deren Klemmkraft durch die Formänderung je eines der Linearaktoren (1, 2) beim Öffnen und Schließen in beiden Richtungen überwindbar ist.
4. Mikrosicherung nach Anspruch 2 oder 3, gekennzeichnet durch die weiteren Merkmale: 15
- a) der über das Übergangsstück (9) mit dem Schaltkontakt (10, 11) verbundene zweite Linearaktor (2) ist Bestandteil des Strompfades des zu schaltenden Strom-/Lastkreises, der um den Schaltkontakt (10, 11) gelegene erste Linearaktor (1) bildet einen davon getrennten ersten Steuerkreis mit einem eigenen Strompfad. 20
5. Mikrosicherung nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch die weiteren Merkmale: 25
- a) an dem Übergangsstück (9) ist parallel zu dem zweiten Linearaktor (2) neben diesem ein dritter Linearaktor (20) aus zwei mäanderförmigen Strukturen (21, 22) mit deren Arbeitsenden (23) angebracht, die mit dem Übergangsstück (9) zusammen einen separaten Stromkreis als zweiten Steuerkreis bilden. 30
6. Mikrosicherung nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch die weiteren Merkmale:
- a) alle Linearaktoren (1, 2; 20) und der dadurch betätigte Schaltkontakt (10, 11) sind gemeinsamer Bestandteil der strukturierten Folie aus der Formgedächtnislegierung FGL, wobei die Linearaktoren (1, 2; 20) dabei jedoch thermisch weitgehend voneinander entkoppelt sind. 35 40
7. Mikrosicherung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, gekennzeichnet durch die weiteren Merkmale:
- a) die offenen Enden an dem ortsfesten Ende aller Linearaktoren (1, 2; 20) sind als Kontakte (12, 14, 15; 24, 25) ausgebildet, mittels derer die mäanderförmigen Strukturen (3, 4, 5, 6; 21, 22) der Linearaktoren (1, 2; 20) durch Stromaufgabe erwärmbar sind. 45

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

ST. GÖTTINGEN

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USF 1.4)

Fig. 1

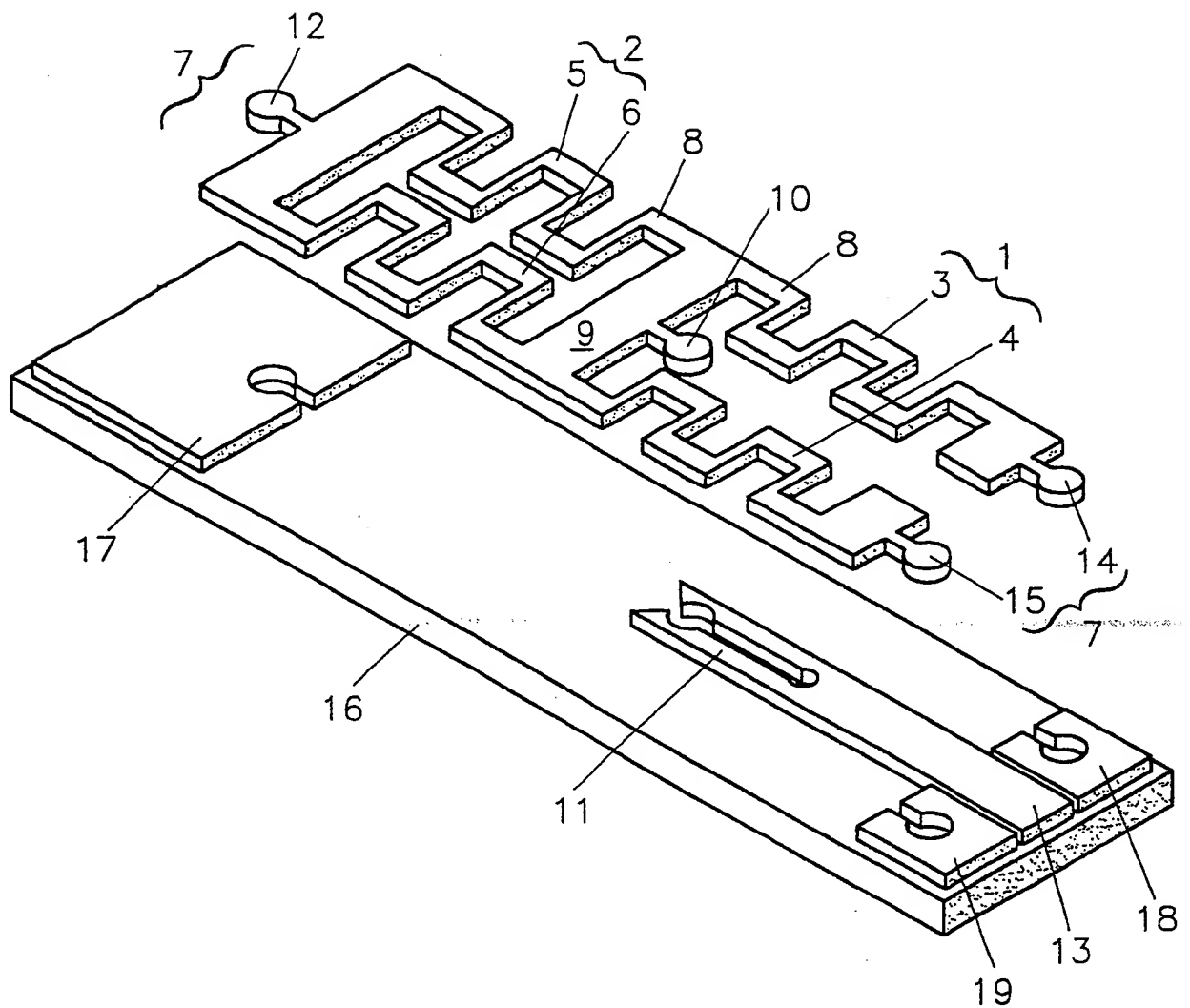


Fig. 2

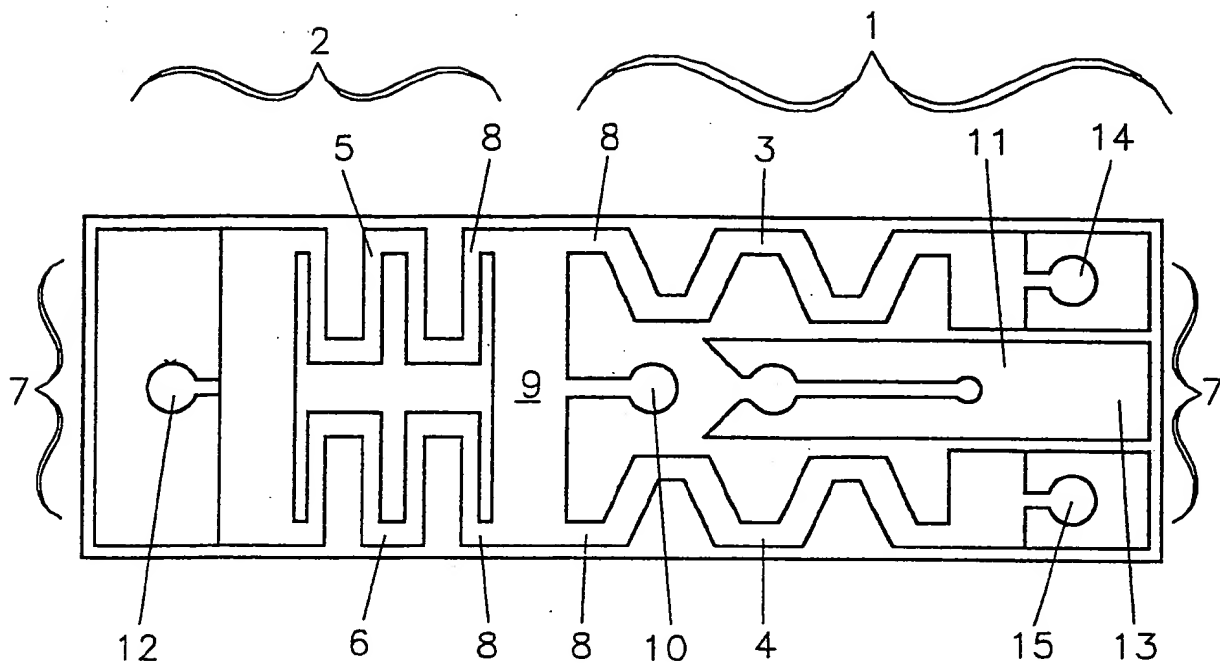


Fig. 3

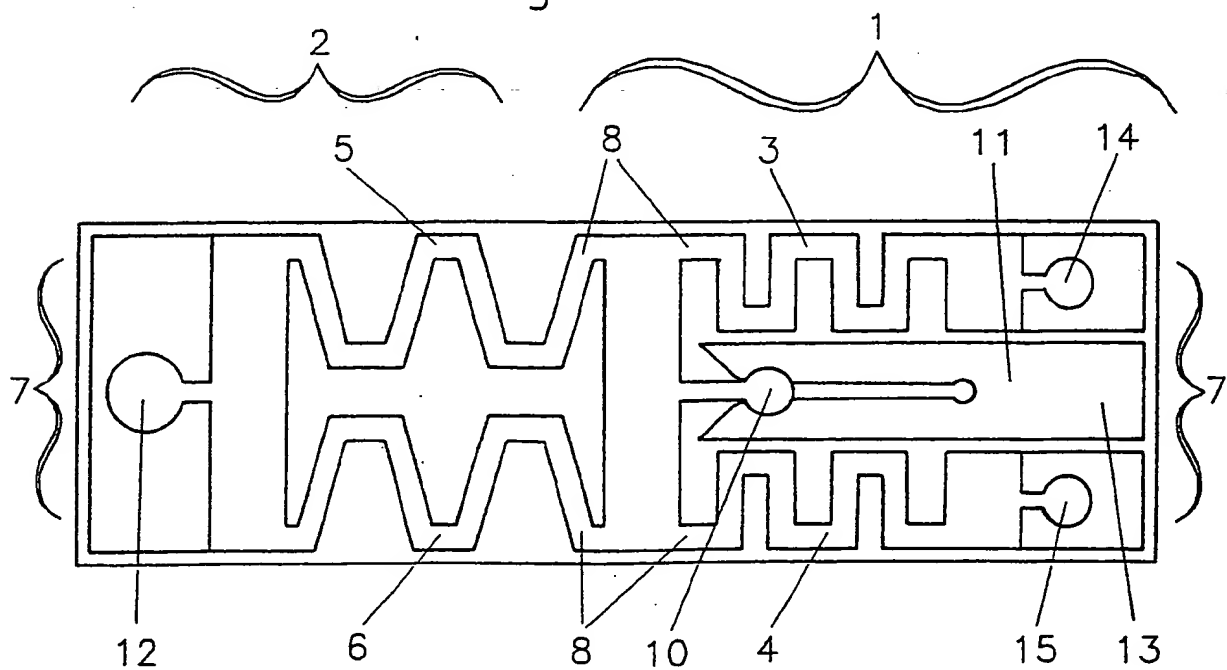


Fig. 4

